Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 4, Winter 2023, p. 869-883

Determining the Efficiency of Silicon Fertilizer and Branch Pruning on Greenhouse Eggplant Yield and Post-harvest Shelf Life

H. Zakeri[1], Z. Roudbari[2]*

Received: 14-09-2021 Revised: 10-12-2021 Accepted: 11-12-2021 Available Online: 30-01-2023	**How to cite this article:** Zakeri, H., & Roudbari, Z. (2023). Determining the Efficiency of Silicon Fertilizer and Branch Pruning on Greenhouse Eggplant Yield and Post-harvest Shelf Life. *Journal of Horticultural Science 36*(4): 869-883. (In Persian with English abstract) **DOI**: 10.22067/jhs.2021.72451.1090

Introduction

Silicon (Si) is not an essential element for the growth of plants, but its role in improving the yield by reducing the environmental stresses and crop durability is very important. Despite the abundance of Si in the soil, the amount of dissolved Si available for herbal absorption might be limited. Therefore, using this useful element through foliar application can be effective in the growth of the plants such as eggplant. On the other hand, profitability is dependent on the high yield and quality per unit area in producing greenhouse vegetables.

Materials and Methods

To study the effect of foliar application of Si fertilizer from the source of Khazra Chelated Silicon (commercial brand, contains 2% chelated silicon for plant at pH 3 to 11 and no silicate in the form of salt) in different stages of the growth of eggplant and bush pruning in hybrid eggplant, a greenhouse experiment was conducted in a soil environment as a split-plot in a randomized complete block design with 3 replications in Minab region. In this experiment, the consumption of Si fertilizer as the main factor at 4 levels (0 and 2 per thousand in the vegetative phase, 2 per thousand in the reproductive phase and 2 per thousand at the two vegetative and reproductive phases) and the type of pruning as a sub-factor in 4 levels (two-branch training system, three-branch training system, four-branch training system and no training system) were applied. Eggplant seeds were transplanted in an environment containing sphagnum in November and then at four-leaf stage they were transferred to the main field in December. The distance between the rows was one meter and the distance between the plants in the row was 45 cm. After positioning the plant in the greenhouse and reaching the appropriate growth, pruning and foliar application of Si fertilizer began and in the treatment without fertilizer, spraying with pure water was used. Silicon fertilizer was sprayed on the eggplant leaves according to the instructions recommended by the manufacturer every eight days. Once the eggplants reached a suitable reproductive growth and started fruiting, fruit thickness, fruit length, the weight of each fruit, the number of the fruits on each plant, and finally the yield of each plant were recorded in each pick. To evaluate the effect of Si on the durability of eggplant after picking, 3 fruits harvested from each treatment were first weighed by a digital scale, and then kept at room temperature for 2 weeks and after two weeks, the weight of each fruit was measured again. Based on two recorded weights, the percentage of fruit weight loss was calculated. Furthermore, to evaluate the effect of silicon fertilizer and plant pruning on resistance to fungal diseases, scores, from 1 to 9, were given to the plants in each treatment. Plants without any fungal infection were assigned a score of 1, and completely infected plants were assigned a score of 9.

Results and Discussion

The results showed that pruning improved the fruit length, the plant height, the fruit weight in each plant, and the plant yield and reduced the percentage of fungal infection in the plant. Moreover, the silicon foliar application positively affected the number of the fruits in each plant and increased the durability of fruits after

1- M.Sc Student of Horticultural Sciences, Islamic Azad University, Jiroft Branch, Jiroft
2- Assistant Professor of Plant Breeding, Department of Crop and Horticultural Science Research, Southern Kerman, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Jiroft, Iran
(*- Corresponding Author Email: z.roudbari@areeo.ac.ir)

harvesting. Silicon foliar application in the two vegetative and reproductive stages together and plant pruning in a four-branch way resulted in maximum plant yield, improved crop quality, and improved greenhouse management. The intensity of fungal infection was affected by different levels of silicon, plant pruning, and the interaction of the two factors at a probability level of five percent. Comparison of interaction averages showed that pruning and foliar application in vegetative and reproductive stages together significantly reduced fungal infection in the greenhouse. The highest intensity of fungal infection was related to plants without pruning and lack of silicon. Pruning improves airflow and modulates humidity in the plant canopy and as a result eliminates the proper conditions for fungal growth. Silicon also prevents fungal penetration into plant cells by depositing in the plant cell wall and strengthening plant tissue, and as a result inhibits fungal growth in the plant. Marschner (2012) reported that silicon would increase resistance to fungal and bacterial diseases and pests. Plant diseases are a major threat to agricultural production because they cause a serious loss of yield and quality of the crop. Numerous studies have reported that Si is effective in controlling diseases caused by fungal and bacterial pathogens in various plant species. Furthermore, given that one of the challenges for producers to deliver high-quality crops to the target market is their durability after harvesting, it seems that silicon foliar application at the two vegetative and reproductive stages might be effective to overcome such a challenge. Choosing a training system depends to a large extent on the ease of work in the greenhouse, the production system, and the superiority of the production rate. On the other hand, a significant increase in yield and crop quality was reported for barley, rice, sugarcane, tomato, cucumber, soybean, and bamboo due to Si consumption during the growth. Another important feature of silicon is that it increases plant damage under biological and non-biological stress conditions as well as resistance against stress.

Conclusion

According to the results, four-branch training system of eggplant and also silicon foliar application in the two vegetative and reproductive phases of greenhouse eggplant improved the yield components and increased the durability after harvesting. Pruning the plant into four branches also improved yields. Therefore, using silicon with four-branch training system is recommended, especially in traditional greenhouses without proper ventilation systems.

Keywords: Branch pruning, Greenhouse vegetables, Post-harvest shelf life, Useful elements

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، ص. ۸۸۳-۸۶۹

تعیین کارایی کود سیلیسیم و تربیت بوته بر عملکرد بادمجان (***Solanum melongena***) گلخانه‌ای رقم 'دنیس' و ماندگاری پس از برداشت میوه

حسین ذاکری[1]- زهرا رودباری[2]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۰

چکیده

سیلیسیم عنصری ضروری برای رشد گیاه نیست اما نقش آن در بهبود عملکرد به‌واسطه کاهش تنش‌های محیطی و ماندگاری محصول بسیار حائز اهمیت است. از سویی در تولید سبزیجات گلخانه‌ای، سودآوری وابسته به عملکرد بـالا و میزان کیفیت در واحد سطح می‌باشـد کـه می‌تواند بـا مـدیریت صحیح هرس ساقه افـزایش یابد. لذا به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی کود سیلیسیم از منبع کلات سیلیسیم در مراحل مختلف رشد گیاه و تربیت بوته در گیاه بادمجان، آزمایشی گلخانه‌ای در محیط خاکی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار در منطقه میناب اجرا شد. در این آزمایش، مصرف کود سیلیسیم به‌عنوان فاکتور اصلی در ۴ سطح (صفر و ۲ در هزار در فاز رویشی، ۲ در هزار در فاز زایشی و ۲ در هزار در دو فاز رویشی و زایشی) و نوع هرس به‌عنوان فاکتور فرعی نیز در ۴ سطح (بدون هرس، هرس دوشاخه، هرس سه‌شاخه و هرس چهارشاخه) اعمال شد. نتـایج نشان داد که شیوه تربیت بوته با تاثیر مثبت بر طول میوه، ارتفاع بوته، وزن میوه منجر به افزایش متوسط عملکرد بوته از ۷۲۰ گرم به ۱۳۰۰ گرم در هر چین شد. همچنین محلول‌پاشی سیلیسیم از طریق افزایش غلظت سیلیسیم موجود در گیاه و تأثیر مثبت بر تعداد میوه در بوته سبب افزایش ۶۴ درصدی عملکرد بوته نسبت به عدم محلول‌پاشی سیلیسم شد. درصد افت وزن میوه نیز از ۱۰ درصد در شـرایط بـدون دریافـت سیلیسـیم بـه ۱ درصـد کـاهش معنی‌داری یافت. اثر متقابل محلول‌پاشی با سیلیسیم در دو مرحله رویشی و زایشی و تربیت بوته به‌صورت چهار شاخه کاهش درصـد آلـودگی قـارچی را به‌دنبال داشت. لذا مصرف سیلیسیم در دو مرحله رویشی و زایشی به‌ویژه در گلخانه‌های سنتی فاقد سیستم‌های تهویه مناسب همراه با هرس چهار شاخه قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: افت وزن میوه، سبزیجات گلخانه‌ای، عناصر مفید، هرس شاخه

مقدمه

یکی از راهکارهای بهبود امنیت غذایی جمعیت رو بـه افـزایش جهـان، افـزایش مقـدار تولیـد در واحـد سـطح مـی‌باشد. مهـم‌تـرین عامل مرتبط با تولید محصول، تغذیـه صـحیح گیاهـان اسـت کـه نقـش قابل‌ملاحظه‌ای در افـزایش عملکـرد دارد. در همـین ارتبـاط، نقش برخی عناصـر نظیـر سیلیـسیم موردتوجـه برخـی متخصصـان تغذیـه گیـاه قرارگرفتـه اسـت (Rodrigues and Datnof, 2015). سیلیـسیم یکی از عناصر غذایی مفید است که بر رشد و سلامت گیاه تأثیر دارد. بسیاری از گیاهان قادر به جذب سیلیـسیم بـوده و مقـدار جـذب بـر اسـاس نـوع گونـه گیـاهی بـین ۱۰-۰/۱ درصـد زیسـت‌تـوده گیـاهی متغیـر اسـت (Mohaghegh *et al.*, 2010). تحقیقات متعدد نشـان داده انـد افـزایش جـذب سیلیسـیم نـوعی اثـر سودمند بر رشد و نمو گیاه به‌واسطه کاهش تنش‌های زیسـتی و غیـر

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم باغبانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد جیرفت، جیرفت
۲- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی جنوب کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: z.roudbari@areeo.ac.ir)
DOI: 10.22067/jhs.2021.72451.1090

زیستی برجای می‌گذارد (Dasgan *et al*., Alam *et al*., 2021 ; Dasgan *et al*., 2016). این موارد شامل تنش شوری، تنش خشکی، سمیت فلزی، عدم تعادل عناصر غذایی، خسارت تشعشع، دمای بالا و یخ زدگی همچنین تحمل به بیماری‌های گیاهی و حمله آفات می‌باشد (Wu *et al*., 2013). به‌رغم فراوانی سیلیسیم در خاک‌ها، مقدار سیلیسیم محلول قابل‌دسترسی برای جذب گیاهی ممکن است محدود باشد. چراکه سیلیسیم می‌تواند با فلزات سنگین کمپلکس شود اما به‌ندرت با مواد آلی محلول کمپلکس تشکیل می‌دهد. لذا مصرف این عنصر مفید می‌تواند از طریق محلول‌پاشی بر رشد گیاهان مؤثر باشد (Crucicol *et al*., 2009).

در حالی محدودیت منابع آبی کشور به‌نوعی کشت برخی از محصولات کشاورزی را با مشکل مواجه کرده است که بسیاری معتقدند با کشت گلخانه‌ای می توان بخش قابل توجهی از منابع آبی را مدیریت کرده و محصولات موردنیاز مصرف کنندگان را با کمترین میزان برداشت از منابع آبی تأمین کرد. با توجه به شرایط جوی کشور نقش توسعه کشت‌های گلخانه‌ای در افزایش محصول، کاهش مصرف آب و حفاظت محصولات در برابر شرایط اقلیمی در کشور بسیار حائز اهمیت است (Roudbari, and Khoshkam, 2020). به دلیل سرعت رشد بیشتر گیاه در شرایط گلخانه، بوته ها نیاز مراقبت بیشتری نسبت به گیاهان فضای بازدارند (Thakur *et al*., 2018). تربیت و هرس بوته یکی از مهم‌ترین اقدامات انجام‌شده در گلخانه جهت دستیابی به حداکثر بهره‌وری در محصولات گلخانه‌ای است. سیستم هرس نقش اساسی در استفاده کارآمد از محیط تولید در گلخانه های تولید سبزی و صیفی دارد (Alsadon *et al*., 2013).

بادمجان (*Solanum melongena* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان خانواده سولاناسه بوده و سطح زیر کشت گلخانه‌ای آن در ایران ۲۸۳ هکتار و متوسط عملکرد آن ۱۵۶/۵۷ تن در هکتار است (Anonymous, 2019). میوه‌ها و سبزیجات بدون شک دارای سهم مهم و در حقیقت ضروری در تأمین عناصر معدنی موردنیاز بدن انسان بوده (Dias, 2012) و بخصوص در تأمین کلسیم و آهن که کمبود آن‌ها در موارد زیادی مشاهده‌شده است، نقش دارند.

افزایش معنی دار عملکرد و بهبود کیفیت محصول با کاربرد سیلیسیم در محصولات مختلفی نظیر جو، برنج، چغندرقند، گوجه‌فرنگی، خیار، بادمجان گزارش‌شده است (Dasgan *et al*., 2016). مصرف ۱ میلی‌مولار سیلیسیم در گلخانه هیدروپونیک کدوسبز منجر به افزایش رشد گیاه، بهبود عملکرد و افزایش مقاومت به کپک پودری می‌شود (Savvas *et al*., 2009). محلول‌پاشی سیلیسیم بر برگ‌های لوبیا با غلظت ۳۰۰ پی‌پی‌ام از منبع سیلیکات پتاسیم در ۳۰، ۶۰ و ۸۰ روز بعد از کشت منجر به افزایش عملکرد دانه شد (1Abou-Baker and Abbas, 201). همچنین مصرف سیلیسیم در گوجه گیلاسی در شرایط گلخانه‌ای افزایش عملکرد میوه را به میزان ۴/۸– ۲ درصد به دنبال داشت (Toresano-Sanchez *et al*., 2012). سیلیسیم علاوه بر بهبود جذب سایر عناصر و افزایش راندمان مصرف کودها، سبب افزایش متابولیسم گیاهی و بهبود رشد در آن‌ها می‌شود (Alam *et al*., 2021). به گزارش این محققین مصرف خاکی سیلیسیم سبب حصول بیشترین ضخامت گوشت و بریکس میوه طالبی و کاهش اثرات تنش خشکی شد. محلول‌پاشی سیلیسیم در گیاهان خانواده کوکوربیتاسه سبب تجمع سیلیسیم در گوشت و سطح بیرونی میوه شده و علاوه برافزایش کیفیت میوه سبب بهبود ماندگاری پس از برداشت می‌شود (Mitani *et al*., 2011). محلول‌پاشی گوجه گیلاسی با سیلیسیم و بور در مرحله قبل از رنگ گیری کامل، منجر به افزایش سفتی بافت میوه، افزایش ویتامین ث و بهبود ماندگاری پس از برداشت شد. به گزارش آن‌ها، میوه‌های محلول‌پاشی شده با سیلیسیم به‌تنهایی و یا در ترکیب با بور، کمترین افت وزن میوه را در دمای ۵ و ۱۱ درجه سانتی‌گراد نشان دادند (Islam *et al*., 2018).

ایجاد شرایط مطلوب برای استفاده از نور خورشید به‌منظور تولید بهتر مواد فتوسنتزی از عوامل مؤثر برای دستیابی به عملکرد بالا در کشت‌های گلخانه‌ای محسوب می‌شود. عرب سلمانی و همکاران (Arab Salmani *et al*., 2021) گزارش نمودند درصورتی‌که هدف از هرس و تربیت بوته تولید محصول زودرس بادمجان باشد، استفاده از شیوه‌ی هرس دوشاخه‌ای و در صورتی که هدف تولید کل محصول باشد، هرس چهار شاخه‌ای برای رقم مورد نظر قابل توصیه است. به گزارش امبراشچک و همکاران (Ambroszczyk *et al*., 2007)، هرس بصورت دو شاخه با تاثیر بر بهبود فتوسنتز تاثیر مثبتی بر تشکیل میوه و رشد آن در بادمجان دارد. بهبود کیفیت و زودرسی میوه بادمجان با هرس بوته و حفظ دو یا چهار شاخه، توسط محقق دیگری (Buczkowska, 2010) نیز گزارش شده است.
در این تحقیق تلاش شده است تا کارایی محلول‌پاشی کود سیلیسیم به‌عنوان یک عنصر مفید همراه با شیوه صحیح تربیت بوته از طریق هرس شاخه بر کمیت و کیفیت محصول بادمجان در شرایط گلخانه مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی کود سیلیسیم از منبع کلات سیلیسیم (حاوی ۲ درصد سیلیسیم کلات‌شده برای گیاه در pH ۳ تا ۱۱ و فاقد سیلیکات به شکل نمک) در مراحل مختلف رشد گیاه و شیوه تربیت بوته در گیاه بادمجان هیبرید 'دنیس' (دلمه‌ای لامپی شکل)، آزمایشی گلخانه‌ای در محیط خاکی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار در منطقه میناب اجرا شد.

در این آزمایش، مصرف کود سیلیسیم به‌عنوان فاکتور اصلی در ۴ سطح (صفر و ۲ در هزار در فاز رویشی، ۲ در هزار در فاز زایشی و ۲ در هزار در دو فاز رویشی و زایشی) و شیوه تربیت بوته به‌عنوان فاکتور فرعی نیز در ۴ سطح (دوشاخه، سه‌شاخه، چهار شاخه و بدون هرس) اعمال شد. مصرف کود سیلیسیم طبق دستور روی جلد شرکت تولیدکننده (با غلظت ۲ در هزار) و بافاصله هر ۸ روز یک‌بار در گلخانه محلول‌پاشی شد.

بذور در اوایل آبان‌ماه در سینی مخصوص تولید نشاء با بستر حاوی پیت‌ماس کشت شده و پس از مرحله ۴ برگی در اواسط آذرماه به گلخانه انتقال داده شد. برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گلخانه، قبل از انتقال نشاء، از ۵ نقطه از خاک به‌طور تصادفی نمونه‌برداری انجام و یک نمونه مرکب خاک به آزمایشگاه ارسال شد که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. براساس نتایج تجزیه خاک و قبل از انتقال نشاء به محیط گلخانه، بستر کشت با کود پلیت مرغی، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم آماده شد. فاصله بین ردیف‌های کشت از همدیگر ۱ متر و فاصله هر بوته از هم در روی ردیف ۴۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. پس از استقرار کامل بوته در گلخانه و رسیدن به رشد مناسب، تربیت بوته و محلول‌پاشی کود سیلیسیم آغاز گردید و در تیمار بدون کود از محلول‌پاشی با آب استفاده شد. همچنین در طول دوره رشد، تغذیه کودی گیاه بر اساس نتایج تجزیه خاک گلخانه در تمامی تیمارها به‌طور یکسان اعمال شد. شرایط محیطی گلخانه در طول دوره رشد در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل گلخانه اجرای پژوهش

Table 1- Results of soil analysis of the greenhouse

عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	pH	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Total Nitrogen (%)	فسفر قابل جذب P (mg.kg^{-1})	پتاسیم قابل جذب K (mg.kg^{-1})	شن Sand (%)	رس Clay (%)	سیلیت Silt (%)	آهن Fe (mg.kg^{-1})	روی Zn (mg.kg^{-1})	مس Cu (mg.kg^{-1})	منگنز Mn (mg.kg^{-1})
0-30	2.04	7.31	1.06	0.09	12.38	152	42	46	12	4.11	0.56	0.14	4.21

جدول ۲- شرایط محیطی گلخانه در طول دوره اجرای پژوهش

Table 2- Greenhouse environmental conditions during the research period

	آذرماه December	دی‌ماه January	بهمن‌ماه February	اسفندماه March	فروردین‌ماه April
حداقل دما (درجه سانتی‌گراد) Minimum temperature (°C)	17	12	12	20	25
حداکثر دما (درجه سانتی‌گراد) Maximum temperature (°C)	35	30	30	40	47
متوسط درصد رطوبت نسبی Average percentage of relative humidity	55	65	67	50	48

بعد از رسیدن بوته‌های بادمجان به رشد زایشی و آغاز باردهی در هر چین صفات قطر میوه، طول میوه، وزن تک میوه، تعداد میوه در هر بوته و نهایتاً عملکرد هر بوته در هر چین یادداشت شد. این یادداشت‌برداری در چهار چین اواخر اسفندماه تا اواسط فروردین‌ماه انجام شد. دلیل انتخاب این بازه زمانی، بررسی تاثیر تیمارهای بکار رفته در شرایط نامساعد پرورش بادمجان گلخانه‌ای در منطقه میناب بود. ابزار مورداستفاده برای اندازه‌گیری قطر و طول میوه، کولیس و برای وزن میوه‌ها ترازوی دیجیتالی بود. همچنین در پایان برداشت ارتفاع نهایی هر بوته با متر نواری اندازه‌گیری و یادداشت شد.

به‌منظور ارزیابی اثر کود سیلیسیم و شیوه تربیت بوته بر مقاومت به بیماری‌های قارچی، نمره دهی از ۱ تا ۹ به بوته‌های موجود در هر تیمار انجام شد. به این صورت که بوته‌های بدون هر گونه آلودگی قارچی نمره ۱ و به بوته‌های کاملاً آلوده نمره ۹ اختصاص یافت (جدول ۳).

جدول ۳- مقیاس مورد استفاده برای سنجش شدت (شاخص) آلودگی قارچی (سفیدک سطحی)

Table 3- Scale used to measure the severity (index) of fungi contamination (Powdery mildew)

نمره بیماری Disease score	وضعیت آلودگی Pollution status
1	بوته سالم Healthy plants
2	حدود یک درصد سطح برگ از اسپور قارچ پوشیده شده است About one percent of the leaf area is covered with fungal spores
3	حدود یک تا ۵ درصد سطح برگ از اسپور قارچ پوشیده شده است One to five percent of leaf area covered with fungal spores
4	۵ تا ۱۰ درصد سطح برگ از اسپور قارچ پوشیده شده است Five to 10% of leaf area covered with fungal spores
5	۱۰ تا ۲۵ درصد سطح برگ از اسپور قارچ پوشیده شده است 10 to 25% of leaf area covered with fungal spores
6	۲۵ تا ۵۰ درصد سطح برگ از اسپور قارچ پوشیده شده است 25 to 50% of leaf area covered with fungal spores
7	۵۰ تا ۷۵ درصد سطح برگ از اسپور قارچ پوشیده شده است 50 to 75% of leaf area covered with fungal spores
8	بیش از ۷۵ درصد سطح برگ از اسپور قارچ پوشیده شده است More than 75% of the leaf area is covered with fungal spores
9	مرگ بوته Dead plant

به‌منظور ارزیابی اثر تیمارهای اعمال شده بر ماندگاری پس از برداشت بادمجان، ۳ میوه‌ی برداشتی از هر تیمار ابتدا به‌وسیله ترازوی دیجیتال وزن شده و سپس به مدت ۲ هفته در دمای اتاق (با متوسط دمای ۲۴ درجه سانتیگراد، رطوبت نسبی ۵۰ درصد و فاقد نور) نگهداری شده و بعد از گذشت دو هفته مجدد وزن هرکدام از میوه‌ها اندازه‌گیری شد. بر اساس دو وزن ثبت‌شده درصد افت وزن میوه محاسبه شد.

همچنین به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی سیلیسیم بر افزایش غلظت این عنصر در گیاه، در هر تیمار از برگ‌های بالایی توسعه یافته بوته پس از آخرین محلول‌پاشی، نمونه برگی تهیه شد و غلظت سیلیسیم به روش چاپمن و پرات (Chapman and Pratt, 1961) سنجش گردید.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری صفات و پارامترهای مختلف در قالب طرح کرت‌های خردشده به‌وسیله نرم‌افزارهای مربوطه مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت. ابتدا تجزیه واریانس همه صفات با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و مقایسه میانگین در سطح احتمال ۵ درصد به‌وسیله آزمون چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار SAS و MSTAT-C صورت گرفت.

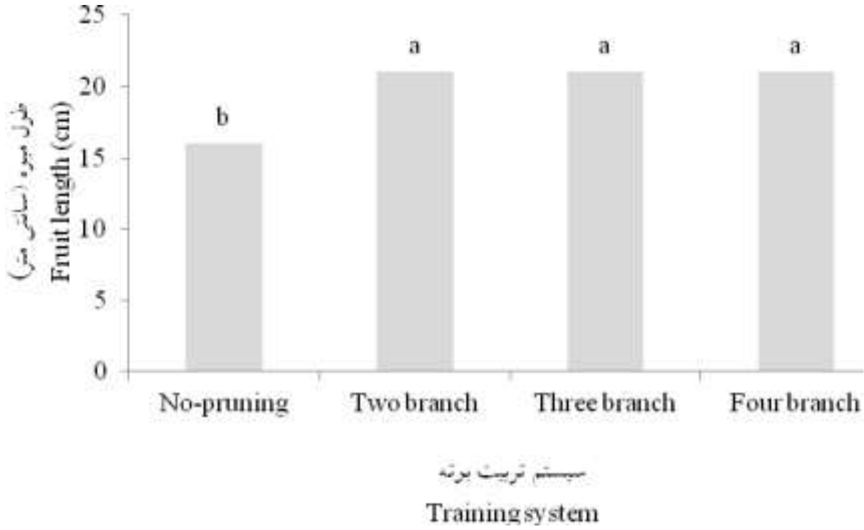
نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که طول میوه تنها تحت تأثیر سیستم تربیت بوته در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سیستم تربیت بوته منجر به افزایش طول میوه شد. به‌طوری‌که طول میوه از ۱۶ سانتی‌متر در بوته‌های بدون هرس به ۲۱ سانتی‌متر در بوته‌های هرس شده افزایش یافت و تفاوت معنی‌داری بین طول میوه در سه سطح دیگر هرس مشاهده نشد (شکل ۱). صیفی و همکاران (Seifi *et al.*, 2011) نیز گزارش نمودند که هرس فلفل دلمه‌ای منجر به افزایش طول میوه در مقایسه با بوته‌های هرس نشده می‌گردد. شیر احمدی و همکاران (Shirahmadi *et al.*, 2016) نیز گزارش نمودند که سیستم تربیت بوته تأثیری بر قطر میوه خیار نداشت اما طول میوه را تحت تأثیر قرارداد. مطالعات نشان داده که قطر میوه‌ها بیشتر به‌وسیله فاکتورهای محیطی کنترل می‌شود، درحالی‌که طول میوه به‌عنوان یک فاکتور متغیر در برخی از سبزی‌های میوه‌ای مانند خیار و فلفل دلمه‌ای تحت تأثیر سیستم تربیت بوته است. بیان‌شده که قطر میوه‌ها از سیستم‌های مختلف تربیت تأثیر نمی‌پذیرد و سیستم‌های تربیت بوته فقط روی طول میوه تأثیر دارند (Chandima *et al.*, 2006).

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، نوع سیستم تربیت بوته بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سیستم تربیت بوته منجر به افزایش ارتفاع بوته شده به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع بوته مربوط به هرس دوشاخه و سه‌شاخه به ترتیب با ارتفاع ۱۷۰ و ۱۶۷ سانتی‌متر و کمترین آن در بوته‌های بدون هرس با ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر مشاهده

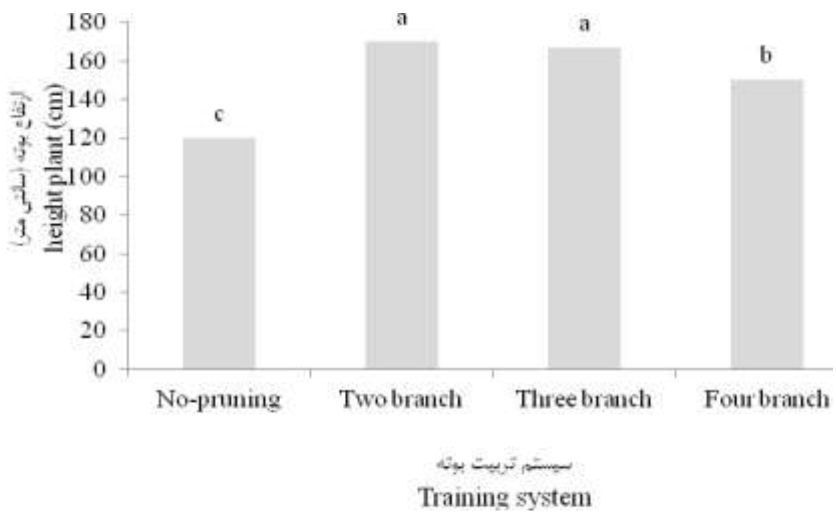
شد. هرچند بوته‌های با هرس چهار شاخه دارای ارتفاع بیشتری نسبت به بوته‌های بدون هرس بودند، اما این ارتفاع در مقایسه با بوته‌های با هرس دو و سه‌شاخه کمتر بود (شکل ۲). آرا و همکاران (Ara *et al.*, 2007) گزارش دادند که بوته گوجه‌فرنگی با هرس تک‌شاخه بلندترین ارتفاع گیاه نسبت به بوته بدون هرس تولید کرد. همچنین جوویسیچ و همکاران (Jovicich *et al.*, 1998) نیز بیان کردند، بوته‌های فلفل با تیمار تعداد شاخه کمتر ارتفاع بوته بلندتر است.

در گیاهان با تعداد شاخه بیشتر به دلیل وجود تعداد میوه بیشتر مواد اسمیلیت‌ها تمایل بیشتری به انتقال به این ساختارهای زایشی دارند که این امر سبب کاهش رشد ساقه‌ها می‌شود و بنابراین، گیاهان با شاخه کمتر ارتفاع بیشتری دارند. یکی از دلایل ارتفاع کم ساقه در بوته‌های با تعداد ساقه بیشتر را می‌توان این‌گونه بیان کرد که در گیاهان با تعداد ساقه بیشتر، به دلیل وجود تعداد میوه بیشتر، مواد آسیمیلاته تمایل بیشتری به انتقال به این ساختارهای زایشی دارند که این امر باعث کاهش رشد ساقه‌ها می‌گردد. همچنین، افزایش تعداد گره با کاهش تعداد ساقه، به دلیل کاهش رقابت بین اندام‌های زایشی و رویشی می‌باشد که مواد فتوسنتزی تولیدشده بیشتری صرف رشد رویشی گیاه و افزایش ارتفاع بوته شده است (Shirahmadi *et al*., 2016).



شکل ۱- اثر سیستم تربیت بوته بر طول میوه بادمجان در شرایط گلخانه

Figure 1- The effect of plant training system on fruit length of eggplant in greenhouse conditions (DMRT, *p≤0.05*)



شکل ۲- اثر سیستم تربیت بوته بر ارتفاع بوته بادمجان در شرایط گلخانه

Figure 2- The effect of plant training system on plant height of eggplant in greenhouse conditions (DMRT, *p≤0.05*)

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی با سیلیسم و سیستم تربیت بوته بر صفات کمی و کیفی بادمجان گلخانه‌ای

Table 4- Analysis of variance of the effect silicon foliar application and plant training system on quantitative and qualitative traits of greenhouse eggplant

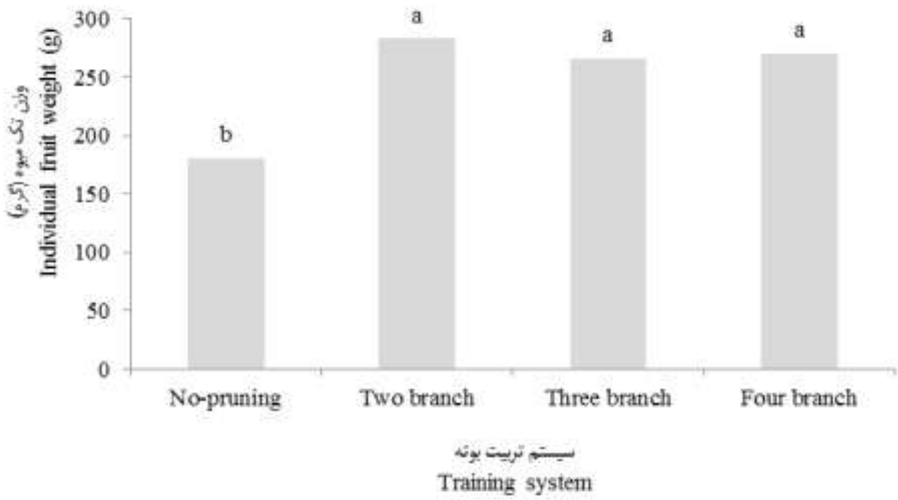
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares								
		طول میوه Fruit length	قطر میوه Fruit diameter	ارتفاع بوته Plant height	وزن تک میوه Fruit weight	تعداد میوه در چین Number of fruits/harvest	متوسط عملکرد در چین Fruit yield/harvest	افت وزن میوه Fruit weight loss	آلودگی قارچی بوته Fungal contamination	غلظت سیلیسیم برگ Silicon concentration of leaf
تکرار Replication	2	8.54 ns	4.92 ns	1777.75 *	6251.52 ns	0.08 ns	203987.75 *	950.22 *	3.86 *	0.31 ns
سیلیسیم Si	3	7.22 ns	5.27 ns	220.02 ns	4561.07 ns	20.57 **	268612.11 *	2606.16 **	6.87 *	1.08 *
خطای a Error a	6	2.08	3.05	121.11	2113.90	0.47	39215.27	178.01	0.75	0.22
سیستم تربیت بوته Training system	3	41.04 **	5.19 ns	951.19 **	13883.74 *	8.68 **	919106.22 **	127.26 ns	25.25 *	0.23 ns
سیلیسیم× سیستم تربیت Si× Training system	9	4.38 ns	5.05 ns	183.36 ns	2537.57 ns	0.28 ns	66439.77 ns	255.75 ns	27.35 *	0.98 ns
خطای b Error b	24	2.36	6.88	150.63	4324.28	0.65	57971.53	258.45	3.88	0.50
ضریب تغییرات C.V (%)	-	7.55	10.60	7.76	24.30	9.98	18.13	12.39	10.42	3.06

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: non-significant, significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، سیستم تربیت بوته بر وزن تک میوه در سطح احتمال پنج درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سیستم تربیت بوته منجر به افزایش وزن میوه شده به‌طوری‌که وزن میوه از ۱۸۰ گرم در بوته‌های بدون هرس به ۲۸۳، ۲۶۵ و ۲۷۰ گرم به ترتیب در بوته‌های هرس شده به‌صورت دو، سه و چهار شاخه افزایش یافت. تفاوت معنی‌داری بین وزن میوه در سه سطح دیگر هرس انجام‌شده مشاهده نشد (شکل ۳).

در تیمار هرس، به دلیل حذف ساقه‌ها و کاهش تعداد میوه در بوته، مواد غذایی بیشتری به میوه‌های باقیمانده اختصاص می‌یابد. چون میوه بادمجان یک مخزن (Sink) بسیار قوی است، بنابراین باعث افزایش میانگین وزن میوه در این تیمار می‌شود. محدود کردن تعداد ساقه بر وزن میوه تأثیرگذار است و هرچه تعداد ساقه کمتر باشد، وزن میوه بیشتر است (Seifi *et al*., 2011).



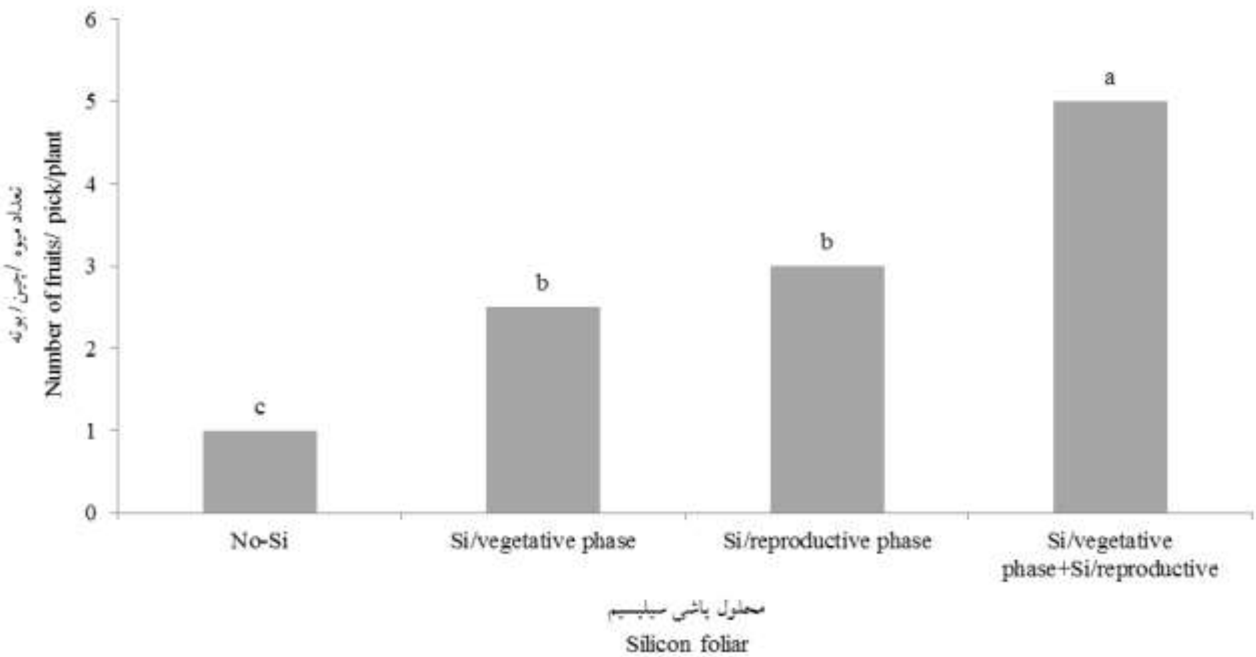
شکل ۳- اثر سیستم تربیت بوته بر وزن تک میوه بادمجان در شرایط گلخانه

Figure 3- The effect of plant training system on individual fruit weight of eggplant in greenhouse conditions (DMRT, $p \leq 0.05$)

تعداد میوه قابل‌برداشت در بوته تحت تأثیر سطوح مختلف محلول‌پاشی سیلیسیم و سیستم تربیت بوته در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۴) تعداد میوه در بوته تحت تأثیر مثبت محلول‌پاشی سیلیسیم قرار گرفت. به‌طوری‌که تعداد میوه قابل‌برداشت در بوته در تیمار عدم مصرف سیلیسیم از یک میوه در بوته به پنج میوه در تیمار مصرف سیلیسیم در مرحله رویشی و زایشی افزایش معنی‌داری یافت. یکی از مشکلات موجود در گلخانه‌های منطقه میناب، نبود سیستم خنک‌کننده در گلخانه می‌باشد که منجر به افزایش دما در گلخانه می‌شود. اختلاف حداقل و حداکثر دمای طی شبانه‌روز در اواخر زمستان و فصل بهار سبب ریزش گل‌ها می‌شود. به‌طوری‌که دما به ترتیب از ۴۰ و ۴۷ درجه سانتی‌گراد در ساعات گرم روز به ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد در شب کاهش می‌یابد. با توجه با افزایش غلظت سیلیسیم در برگ در اثر محلول‌پاشی (شکل ۱۰) بنظر می‌رسد در گیاهان قرارگرفته در معرض تنش گرمایی، تیمار سیلیسیم از طریق محلول‌پاشی منجر به حفظ باز بودن روزنه‌ها تحت تنش و انجام فتوسنتز گردیده و کاهش عملکرد تحت تنش گرمایی (۴۰ درجه سانتی‌گراد) را به حداقل رسانده است (Hu *et al*., 2020). سیلیسیم با کاهش اثرات تنش گرمایی از طریق خنک شدن برگ‌ها، بهبود فتوسنتز و انجام گرده‌افشانی مناسب (Hartley *et al*., 2012) منجر به افزایش تعداد میوه گردیده است.

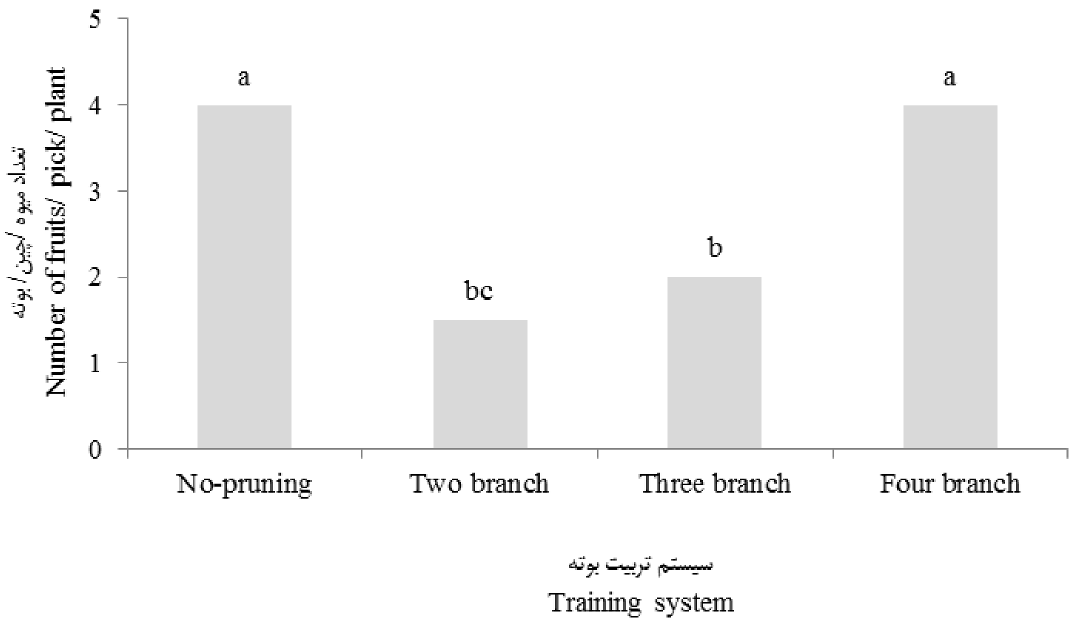
همچنین مقایسه میانگین سیستم تربیت بوته بر تعداد میوه قابل‌برداشت در هر چین (شکل ۵) نشان داد که بیشترین تعداد میوه از بوته‌های هرس نشده و بوته‌های با ۴ شاخه حاصل شد. تعداد میوه در این دو تیمار ۴ میوه بوده درحالی‌که در بوته‌های با دو و سه‌شاخه به ترتیب ۱/۵ و ۲ میوه در بوته قابل‌برداشت بود. تفاوت نوع هرس را می‌توان به میزان نورگیری و تعداد برگ‌های هر بوته نسبت داد که هرچه میزان نور دریافتی و تعداد برگ بیشتر باشد بوته قدرت تولید تعداد میوه بیشتر دارد. در بوته‌های با تعداد شاخه بیشتر تعداد میوه بیشتر است درنتیجه مواد آسیمیلاته بایستی در تعداد میوه بیشتر تقسیم شود درنتیجه به هر میوه مواد فتوسنتزی کمتری می‌رسد و وزن تک-میوه در بوته‌های با شاخه بیشتر کاهش نشان می‌دهد. لذا لازم است

بین میزان فتوسنتز و تعداد میوه تولیدی تعادل برقرار باشد تا وجود میوه زیاد مانع از افزایش وزن میوه نگردد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد (شکل ۳) کمترین وزن میوه مربوط به بوته‌های بدون هرس بود چراکه این بوته‌ها با تولید تعداد میوه زیاد که هر یک در مراحل مختلفی از رشد بوده و با ایجاد رقابت بر سر جذب مواد فتوسنتزی، کاهش وزن در میوه‌های قابل‌برداشت را نشان می‌دهند.



شکل ۴- اثر محلول‌پاشی با سیلیسیم در مراحل مختلف رشد بر تعداد میوه قابل‌برداشت /چین بادمجان در شرایط گلخانه

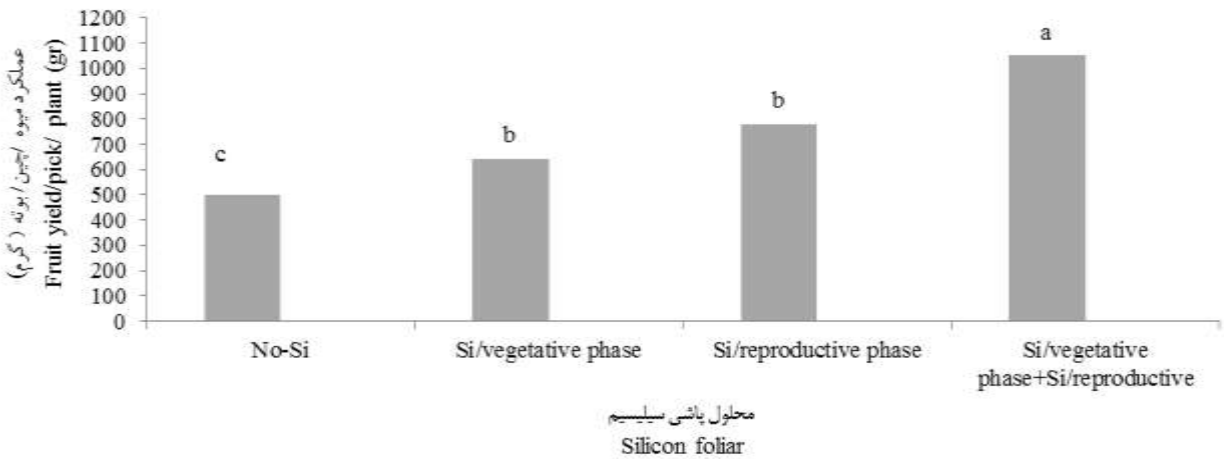
Figure 4- The effect silicon foliar application at different stages of growth on number of fruit/ pick of eggplant in greenhouse conditions (DMRT, $p≤0.05$)



شکل ۵- اثر سیستم تربیت بوته بر تعداد میوه قابل‌برداشت/چین/ بوته در بادمجان گلخانه‌ای

Figure 5- The effect of plant training system on number of fruit/ pick/ plant of eggplant in greenhouse conditions (DMRT, $p≤0.05$)

عملکرد میوه در بوته تحت تأثیر سطوح مختلف محلول‌پاشی سیلیسیم و سیستم تربیت بوته به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد قرار گرفت (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۶) عملکرد میوه در بوته تحت تأثیر مثبت محلول‌پاشی سیلیسیم قرار گرفت. به‌طوری‌که عملکرد از ۵۰۰ گرم در بوته‌های بدون دریافت سیلیسیم به ۱۰۵۰ گرم در بوته‌های با دریافت سیلیسیم در دو فاز رویشی و زایشی افزایش یافت. محلول‌پاشی سیلیسیم افزایش عملکرد میوه در بوته‌های محلول‌پاشی شده با سیلیسیم تنها در یک مرحله رویشی یا زایشی را نیز افزایش داد. عملکرد میوه در این بوته‌ها به ترتیب ۶۵۰ و ۷۸۰ گرم میوه در بوته در هر چین بود.

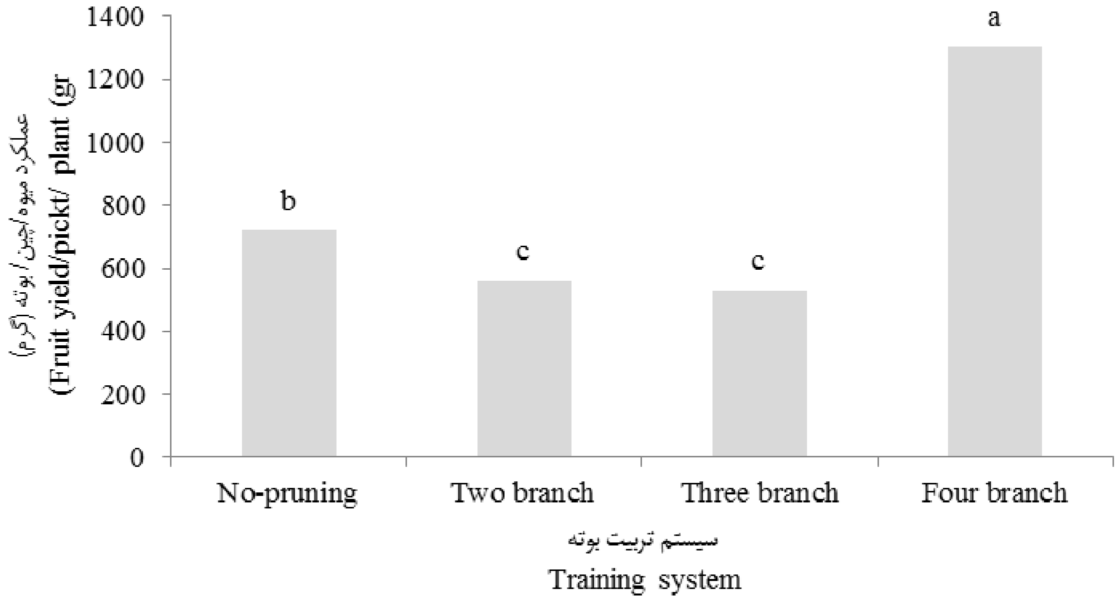


شکل ۶- اثر محلول‌پاشی با سیلیسیم در مراحل مختلف رشد بر عملکرد میوه/چین/ بوته بادمجان در شرایط گلخانه

Figure 6- The effect of Silicon foliar application at different stages of growth on fruit yield/pick/ plant of eggplant in greenhouse conditions (DMRT, *p≤0.05*)

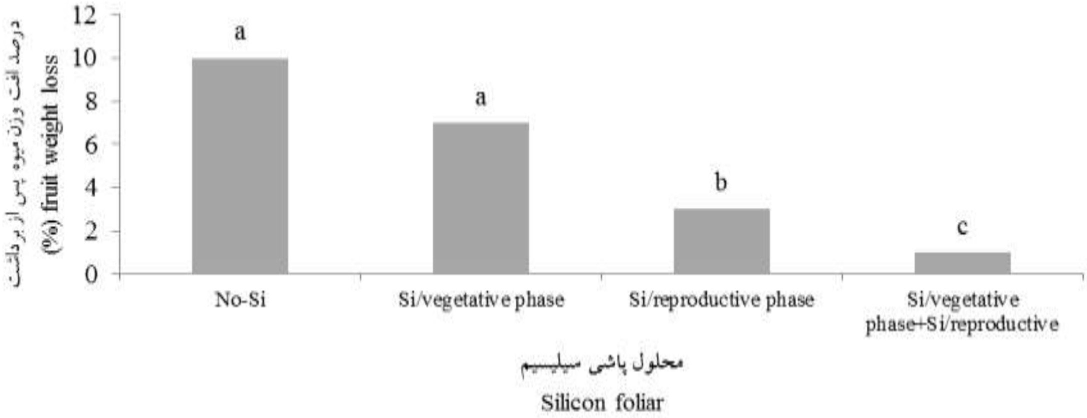
سیستم تربیت بوته با حفظ چهار شاخه سبب بهبود عملکرد میوه شد (شکل ۷). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در مقایسه با بوته‌های بدون هرس، تنها هرس چهارشاخه سبب بهبود عملکرد شد. چراکه با حذف شاخه‌ها، تعداد میوه کاهش می‌یابد. باوجوداینکه با انجام هرس وزن میوه افزایش می‌یابد اما این افزایش جبران تعداد میوه را نکرده و عملکرد کاهش یافت؛ اما در بوته‌های هرس نشده باوجود بالا بودن تعداد میوه، به دلیل رقابت بین میوه‌ها، میوه‌های با وزن کمتری تولیدشده و کاهش عملکرد در بوته اتفاق افتاده است. ازآنجایی‌که بوته با تعداد شاخه بیشتر واجد تعداد برگ و گره بیشتری خواهد بود، اگر شرایط برای فتوسنتز و تولید مناسب باشد، با افزایش تعداد شاخه انتظار می‌رود تعداد میوه و درنهایت عملکرد افزایش یابد. افزایش عملکرد در هرس چهار شاخه در بادمجان گلخانه‌ای توسط عرب-سلمانی و همکاران (Arab Salmani *et al*., 2021) نیز گزارش شده است.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که درصد افت وزن میوه در طی انبارمانی متأثر از محلول‌پاشی سیلیسیم در سطح احتمال یک درصد قرارگرفته است (جدول ۴). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، محلول‌پاشی سیلیسیم در مرحله زایشی و همچنین در مرحله رویشی و زایشی به‌طور توأم، سبب کاهش درصد افت وزن میوه پس از برداشت و در شرایط انبار شد. بااین‌وجود کمترین افت وزن از اعمال محلول‌پاشی در دو مرحله رشد حاصل شد. درصد افت وزن میوه در بوته‌هایی که سیلیسیم را دریافت نکرده بودند، ۱۰ درصد بوده که به یک درصد در شرایط محلول‌پاشی سیلیسیم در دو مرحله رویشی و زایشی به ۱ درصد کاهش معنی‌داری یافته است (شکل ۸). تأثیر مثبت محلول‌پاشی سیلیسیم را بر بهبود ماندگاری گوجه گیلاسی را پس از برداشت در مدت انبارمانی نیز گزارش شده است (Islam *et al*., 2018). بابینی و همکاران (Babini *et al*., 2012) نیز گزارش نمودند سیلیسیم منجر به بهبود ماندگاری توت‌فرنگی پس از برداشت می‌شود.



شکل ۷- اثر سیستم تربیت بوته بر عملکرد میوه/چین/ بوته بادمجان در شرایط گلخانه

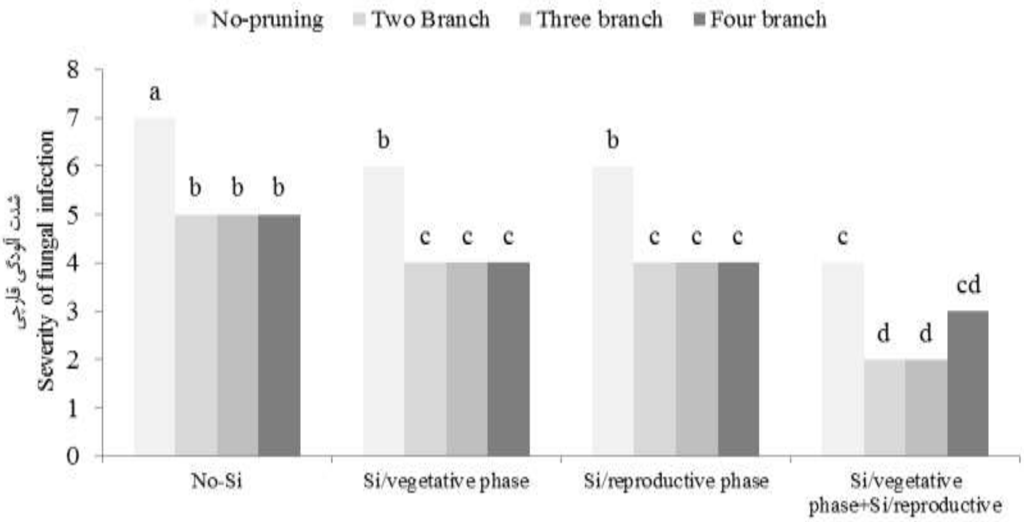
Figure 7- The effect of plant training system on fruit yield/pick of eggplant in greenhouse conditions (DMRT, *p≤0.05*)



شکل ۸- اثر محلول‌پاشی با سیلیسیم در مراحل مختلف رشد بر درصد افت وزن میوه طی انبارمانی بادمجان

Figure 8- The effect of Silicon foliar application at different growth stages of eggplant on percentage of fruit weight loss during storage (DMRT, *p≤0.05*)

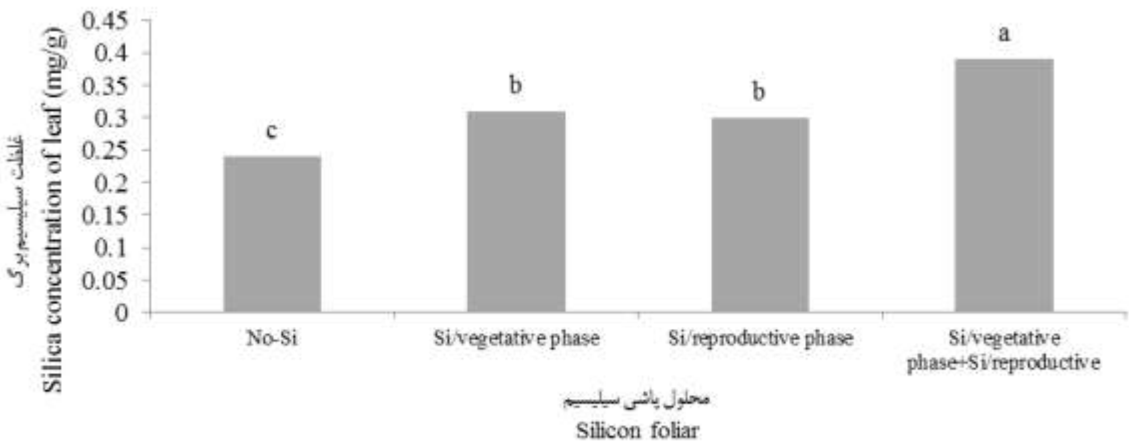
شدت آلودگی قارچی تحت تأثیر سطوح مختلف سیلیسیم، سیستم تربیت بوته و اثر متقابل دو فاکتور در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که انجام هرس و محلول‌پاشی در دو مرحله رویشی و زایشی به‌طور توأم سبب کاهش معنی‌دار آلودگی قارچی در گلخانه شد. بیشترین شدت آلودگی قارچی مربوط به بوته‌های بدون هرس و عدم مصرف سیلیسیم بود (شکل ۹). انجام هرس سبب بهبود جریان هوا و تعدیل رطوبت در کانوپی گیاه شده و درنتیجه شرایط مناسب برای رشد قارچ از بین می‌رود. همچنین سیلیسیم با رسوب در دیواره سلول گیاهی و استحکام بافت گیاه، مانع از نفوذ قارچ در سلول‌های گیاهی شده و درنتیجه از رشد قارچ در گیاه جلوگیری می‌کند. سیلیسیم سبب افزایش مقاومت به بیماری‌های قارچی، باکتریایی و آفات خواهد شد (Marschner, 2012). بیماری‌های گیاهی تهدید عمده‌ای برای تولید محصولات کشاورزی هستند زیرا باعث از دست رفتن جدی عملکرد و کیفیت محصول می‌شوند. مطالعات متعدد گزارش کرده‌اند که Si در کنترل بیماری‌های ناشی از عوامل بیماری زای قارچی و باکتریایی در گونه‌های مختلف گیاهی مؤثر است (Rodrigues and Datnof, 2015).



شکل ۹- اثر متقابل محلول‌پاشی با سیلیسیم × سیستم تربیت بوته بر شدت آلودگی قارچی بوته بادمجان گلخانه‌ای

Figure 9- The interaction effect of silicon foliar application ×plant training system on fungal contamination of eggplant in greenhouse conditions (DMRT, *p≤0.05*)

غلظت سیلیسیم در گیاه نیز تحت تاثیر سطوح مختلف محلول‌پاشی سیلیسیم در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت و اثر سیستم تربیت بوته و اثر متقابل دو فاکتور بر این صفت از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴). براساس مقایسه میانگین ها مشخص شد که محلول پاشی سیلیسیم سبب افزایش معنی‌دار غلظت سیلیسیم در بافت برگی گیاه شده و بیشترین غلظت آن از محلول‌پاشی در دو مرحله رویشی و زایشی به‌طور توأم حاصل شد (شکل ۱۰). غلظت سیلیسیم در بوته های بدون محلول‌پاشی این عنصر ۰/۲۴ میلی‌گرم/گرم بوده که به ۰/۳۹ میلی‌گرم/گرم افزایش معنی‌داری یافت. حصول این نتیجه تاییدی بر اثرات مثبت سیلیسیم در جهت بهبود صفات مورد ارزیابی است. قاسمی و همکاران (Ghasemi *et al.*, 2019) نیز گزارش نمودند که محلول‌پاشی سیلیکات پتاسیم سبب افزایش معنی‌دار سیلیسیم در برگ توت‌فرنگی شد.



شکل ۱۰- اثر محلول‌پاشی با سیلیسیم در مراحل مختلف رشد بر غلظت سیلیسیم برگ در بادمجان

Figure 10- The effect of silicon foliar application at different growth stages of eggplant on leaf silicon concentration (DMRT, *p≤0.05*)

یکی از تکنیک‌های موثر در جهت صرفه‌جویی انرژی جهت تولید بادمجان در شرایط گلخانه سیستم تربیت بوته (Ambroszczyk *et al.*, 2007) می‌باشد. انتخاب یک سیستم تربیت به میزان زیادی به‌آسانی کار در گلخانه، سیستم تولید و برتری میزان تولید وابسته است (Ambroszczyk *et al.*, 2008). از سوی مصرف سیلیسیم در سبزیجات گلخانه‌ای منجر به کاهش آسیب در گیاه تحت شرایط تنش زیستی و غیرزیستی شده و مقاومت در برابر تنش را افزایش می‌دهد (Dasgan *et al.*, 2016). نتایج این مطالعه که باهدف بررسی اثر محلول‌پاشی سیلیسیم و سیستم تربیت بوته بر عملکرد و ماندگاری میوه بادمجان گلخانه‌ای انجام شد، نشان داد که سیستم تربیت بوته سبب بهبود طول میوه، ارتفاع بوته، وزن میوه در بوته، عملکرد بوته و کاهش درصد آلودگی قارچی در بوته شد. همچنین محلول‌پاشی سیلیسیم تأثیر مثبتی بر تعداد میوه در بوته، افزایش ماندگاری محصول پس از برداشت داشت. محلول‌پاشی سیلیسیم در دو مرحله رویشی و زایشی به‌طور توأم و انجام سیستم تربیت بوته به‌صورت چهارشاخه منجر به حصول بیشترین عملکرد بوته، بهبود کیفیت محصول و بهبود مدیریت گلخانه شد. همچنین ماندگاری پس از برداشت به‌عنوان یکی از چالش‌های تولیدکنندگان برای رساندن محصول باکیفیت به بازار هدف با محلول‌پاشی سیلیسیم، مرتفع گردید. لذا مصرف سیلیسیم به‌ویژه در گلخانه‌های سنتی فاقد سیستم‌های تهویه مناسب همراه با هرس چهار شاخه قابل توصیه است.

منابع

1. Abou-Baker, N., & Abbas, M. (2011). Use of silicate and different cultivation practices in alleviating salt stress effect on bean plants. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences 5*(9): 769-78.
2. Alsadon, A., Wahb-Allah, M., Abdei-Razzak, H., & Ibrahim, A. (2013). Effects of pruning systems on growth, fruit yield and quality traits of three greenhouse-grown bell pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars. *Australian Journal of Crop Science 7*(9): 1309-1316.
3. Alam, A., Hariyanto, B., Ullah, H., Salin, K., & Datta, A. (2021). Effects of silicon on growth, yield and fruit quality of cantaloupe under drought stress. *Silicon* 13: 3153–3162. https://doi.org/10.1007/s12633-020-00673-1.
4. Ambroszczyk, A.M., Cubula, S., & Sekara, A. (2007). The effect of plant pruning on yield and fruit quality of eggplant (*Solanum melongena* L.) in greenhouse cultivation. *Horticulture, Environment, and Biotechnology 48*(5): 277-285. https://doi.org/10.2478/fhort-2013-0109.
5. Ambroszczyk, A.M., Cubula, S., & Sekara, A. (2008). The effect of shoot training on yield, fruit quality and leaf chemical composition of eggplant in greenhouse cultivation. *Folia Horticulturae 20*(2): 3-15. https://doi.org/10.2478/fhort-2013-0109.
6. Anonymous. (2019). *Statistics of agricultural products*. Volume 3. Publications of the Ministry of Jihad Agriculture. (In Persian)
7. Ara, A., Bashar, M.K., Begum, S., & Kakon, S.S. (2007). Effect of spacing and stem pruning on the growth and yield of tomato. *International Journal Sustainability Crop Production 2*(3): 35-39.
8. Arab Salmani, K., Jalali, A.H., & Jafari, P. (2021). Study of the effect of plant pruning on eggplant yield (*Solanumm elongena*, Bellen cultivar) in greenhouse conditions. *Journal of Horticultural Science Online population*. (In Persian with English abstract)
9. Babini, E., Marconi, S., Cozzolino, S., Ritota, M., Taglienti, A., Sequi, P., & Valentini, M. (2012). Bio-available silicon fertilization effects on strawberry shelf-life. *In XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010) 934*: 815-818. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.934.107.
10. Buczkowska, H. (2010). Effect of plant pruning and topping on yielding of eggplant in unheated foil tunnel. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus 9*(3): 105-115.
11. Chandima, T.M., Weerakkody, W.A.P., Weerasinghe, K.W.L.K., & Wahundeniya, K.B. (2006). *Growth and yield performances of salad (green) cucumber* (*Cucumis sativus*). Idaho Center for Sustainable Agriculture 18 p.
12. Chapman, H.D., & Pratt, P.F. (1961). *Methods of analysis for soils, plants and water*. University California, Berkeley, CA, USA.
13. Crucicol, C.A.C., Pulz, A.L., Lemos, L.B., Soratto, R.P., & Lima, G.P.P. (2009). Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. *Crop Physiology and Metabolism* 49: 949-954. https://doi.org/10.2135/cropsci2008.04.0233.
14. Dasgan, H.Y., Akhoundnejad, Y., & Caglayangil, H. (2016). Selenium and silicon fertilization in soilless grown eggplant. *International Journal of Agriculture Innovations and Research 5*(3): 417-421.
15. Dias, J.S. (2012). Nutritional quality and health benefits of vegetables: A review. Food *and Nutrition Sciences* 3: 1354-1374. https://doi.org/10.4236/fns.2012.310179.
16. Ghasemi, K., Ghajar Sepanlou, M., & Haddadinejad, M. (2019). Effect of silicon on nutrient concentration, photosynthetic pigments and fruit quality of strawberry cv. Camarosa. *Horticultural Plants Nutrition 2*(1): 85-98.

(In Persian with English abstract)
17. Hartley, A., Mclachlan, H., Hetherington, A., & Franklin, K. (2012). High temperature exposure increases plant cooling capacity. *Current Biology 22*(10): 396-397. https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.03.044.
18. Hu, S., Ding, Y., & Zhu, C. (2020). Sensitivity and Responses of Chloroplasts to Heat Stress in Plants. *Frontiers in Plant Science* 11: 375. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00375.
19. Islam, M.Z., Mele, M.A., & Choi, K.Y. (2018). The effect of silicon and boron foliar application on the quality and shelf life of cherry tomatoes. *Zemdirbyste* 105: 159–164.
20. Jovicich, E., Cantliffe, D.J., & Hochmuth, G.J. (1998). Plant density and shoot pruning on fruit yield and quality of a summer greenhouse sweet pepper crop in Northcentral Florida. *Horticultural Science* 28: 184-190.
21. Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press.
22. Mitani, N., Yamaji, N., Ago, Y., Iwasaki, K., & Ma, J.F. (2011). Isolation and functional characterization of an influx silicon transporter in two pumpkins cultivars contrasting in silicon accumulation. *Plant Journal* 66: 231–240. https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2011.04483.x.
23. Mohaghegh, P.F., Shravani, M., & Ghasemi, S. (2010). The effect of silicon application on growth and yield of two cucumber cultivars in hydroponic system. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 1*(1): 39-35. (In Persian)
24. Rodrigues, F.A., & Datnof, L.E.(2015). *Silicon and plant diseases*. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22930-0.
25. Roudbari, Z., & Khoshkam, S. (2020). Pruning of plants in greenhouse vegetables. *Scientific Journal of Greenhouse Vegetable Extension 3*(1): 19-11. (In Persian)
26. Savvas, D., Giotis, D., Chatzieustratiou, E., Bakea, M., & Patakioutas, G. (2009). Silicon supply in soilless cultivations of zucchini alleviates stress induced by salinity and powdery mildew infections. *Environmental and Experimental Botany* 65: 11–17. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.07.004.
27. Seifi, S., Nemati, S.H., Shoor, M., & Abedi, B. (2011). Effect of plant density and shoot pruning on fruit quality characteristics of two cultivars of sweet pepper. *Journal of Horticultural Science 25*(2): 194-200. (In Persian with English abstract)
28. Shirahmadi, S., Barzegar, X., & Ghahremani, Z. (2016). The effect of different plant breeding systems on growth, yield and quality of greenhouse cucumber of Gohar cultivar. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 7*(28): 24-13. (In Persian with English abstract)
29. Thakur, O., Kumar, V., & Singh, J. (2018). Review on advances in pruning to vegetable crops. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 7*(2): 3556-5365. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.702.422.
30. Toresano-Sanchez, F., Valverde, A., & Camacho-Ferre, F. (2012). Effect of the application of silicon hydroxide on yield and quality of cherry tomato. *Journal of Plant Nutrition 35*(4): 567-590. https://doi.org/10.1080/01904167.2012.644375.
31. Wu, J.W., Shi, Y., Zhu, Y.X., Wang, Y.C., & Gong, H.J. (2013). Mechanisms of enhanced heavy metal tolerance in plants by silicon: a review. *Pedosphere* 23: 815–825. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(13)60073-9.